

Pool-Fingers – Speläotheme biogenen Ursprungs in der Blautopfhöhle (Schwäbische Alb)

Stefan Meyer & Rainer Straub

Zusammenfassung

Während der Detailvermessung des aktuell 12,6 Kilometer langen Blauhöhlsystems (Kat.Nr.7524/30) durch die Arbeitsgemeinschaft Blautopf wird an jedem Messpunkt das gesamte Höhleninventar akribisch aufgenommen. Im Rahmen dieser sehr aufwändigen Untersuchungen können dabei viele speläologische Daten und außergewöhnliche Speläotheme dokumentiert werden. Im Jahr 2012 wurden dabei durch RAINER STRAUB mehrere Sinterbecken mit fossilen Pool-Fingers entdeckt. Bei Pool-Fingers handelt es sich um biogene Sinter, deren Bildung auf Mikroorganismen (*Bacteria*) zurück zu führen ist. Im vorliegenden Beitrag werden vier der vermutlich postglazial entstandenen Pool-Fingers-Vorkommen aus der Blautopfhöhle beschrieben und deren Genese diskutiert. In bisher zwei Sinterbecken der Blautopfhöhle konnten lebende Pool-Fingers dokumentiert werden. Dabei handelt es sich um bewegliche Filamente aus Mikroorganismen, die nach derzeitigem Kenntnisstand als Vorstufe der fossilen Formen gesehen werden. Bei diesen bislang noch sehr seltenen Vorkommen handelt es sich um den zweiten Lebendnachweis aus einer deutschen Höhle.

Abstract

The presently 12.6 kilometer long Blauhöhlsystem, Baden-Württemberg, is explored by the Caving Group Arbeitsgemeinschaft Blautopf. During the detailed surveying work, a complete documentation of the cave inventory is done at each survey station. In 2012 RAINER STRAUB discovered several cave pools which contain fossil pool fingers. The origin of these forms is based on a biological process influenced by microorganism (*Bacteria*). This report describes four occurrences in the cave and the authors discuss their genesis of origin. In two cave-pools living pool fingers are noted. These are flexible filaments are, based on the present knowledge, a primary stage of the fossil types of pool fingers. These deposits of the Blautopfhöhle are the second record of living pool fingers in German Caves.

Biogene Sinter

Bei der Bildung von Sintern bzw. Speläothemen können Mikroorganismen beteiligt sein. Lebensraum und Grundlage dieser Mikroorganismen sind Wasseransammlungen und Wasserfilme mit den darin gelösten Nährstoffen. Es ist davon auszugehen, dass Tropf- und Sickerwasser für die Verbreitung

und Besiedelung der Mikroorganismen in Höhlen von besonderer Bedeutung sind.

Fossile Mikroorganismen finden sich gelegentlich in Sinterformen wie zum Beispiel in Beckenrandsintern (MEYER et al. 2015) oder Höhlenperlen (GRADZINSKI 2003; MELIM et al. 2008). Auch lebende Mikroorganismen wurden bereits im Inneren von Sinter beobachtet.

Anschriften der Verfasser: RAINER STRAUB, HFGOK / Arge Blautopf, Uhuweg 7, 70794 Filderstadt, Rainer.straub@gmx.de; STEFAN MEYER, HGN / ARGE Karstkunde Harz, Kirchfeld 14, 31171 Nordstemmen /Barnten, androniscus@web.de

Nach neuen Untersuchungen sind auch die berühmten korallenartigen Aragonit-Formationen der Aven des Crozes (Grotte Asperge, Frankreich) unter Einfluss von Bakterien und Pilzen entstanden (SCHMID 2012).

Mikroorganismen sind ein bedeutender, aber noch kaum beachteter Bestandteil der Höhlenorganismen. Wie bei höheren Lebensformen, finden sich auch bei Höhlen-Mikroorganismen endemische, speziell an den Lebensraum angepasste Arten.

Die Besonderheit dieser Lebewesen, passiv bzw. aktiv bei der Bildung von Sinterformen mitzuwirken, zeigt den enormen Einfluss dieser noch weitgehend unbekannt biologischen Prozesse. Durch DNA-Untersuchungen ist eine Ermittlung der Arten und Artengemeinschaften möglich. Erste Untersuchungen erfolgten an Proben aus den Carlsbad Caverns in New Mexiko, USA. Durch die enormen Möglichkeiten der DNA-Sequenzierung wird zukünftig auch in diesem neuen Forschungsgebiet von der Entdeckung neuer Arten ausgegangen.

Das noch sehr junge Forschungsgebiet der biogenen Sinterforschung wurde durch viele neue Fachbegriffe geprägt, die in diesem Beitrag ebenfalls für die vielfältigen Formen verwendet werden sollen. (MELIM et al. 2011, 2013).

Vor allem Sinterbecken stellen aufgrund ihrer konstanten Bedingungen über einen langen Zeitraum einen optimalen Lebensraum dar. Somit erklärt sich, warum gerade in Sinterbecken die meisten biogenen Sintervorkommen beschrieben wurden.

Ohne maßgebliche Beteiligung von Mikroorganismen bildet sich am Rand der Becken Randsinter (Shelfstone) wobei auch isolierte Vorkommen beobachtet werden können, die als Lili-Pads bezeichnet werden. Die Becken sind oftmals mit Kalzitkristallen (Pool-Spar) ausgekleidet.

Bei der Bildung der sogenannten Biothemen hingegen sind Mikroorganismen maßgeblich beteiligt. Am überhängenden Rand von Sinterbecken wachsen fingerförmige Pool-Fingers, Chenille-Spar und Drips (oder Drrippies), während Pool-Meringue eher am Grund des Beckens wachsen. U-Loops und Webulite wachsen zwischen Biothemen und verbinden diese (MELIM et al. 2012). Mehrere U-Loops übereinander werden auch als sogenannte Webulite bezeichnet. U-Loops und Webulite entstehen dadurch, dass die

noch flexiblen und beweglichen Mikroorganismen-Filamente (lebende Pool-Fingers) durch Wasserstands-Schwankungen, an rauen Substraten wie Sinteroberflächen, Cave-corals, Pool-Fingers etc. anhaften. Sie werden im Laufe der Zeit durch Kalkablagerungen oder Kalkausscheidungen in ihrer Position fixiert.

Pool-Finger-Vorkommen in Deutschland

In Deutschland wurden die ersten Pool-Finger-Vorkommen in der Riesenberghöhle in Niedersachsen entdeckt. Durch die anschließenden Publikationen (u.a. MEYER & PLAN 2010) wurde die Suche nach biogenen Sintern auch in Deutschland intensiviert. Neben dem weltweit nördlichsten gelegenen Fundpunkt von Pool-Fingers in der Riesenberghöhle im Jahr 2010 wurden im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System (Hessen) erstmals lebende Pool-Fingers als Terra-Typica beschrieben (MEYER 2014; MEYER et al. 2015). Derzeit sind Pool-Finger-Vorkommen in sechs deutschen Höhlen bekannt. Neben der Riesenberghöhle und dem Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System sind Vorkommen aus der Lohberghöhle bei Schönlind, der Hermannshöhle und der Brecherkluff im Harz sowie die hier vorgestellten Vorkommen in der Blautopfhöhle bekannt.

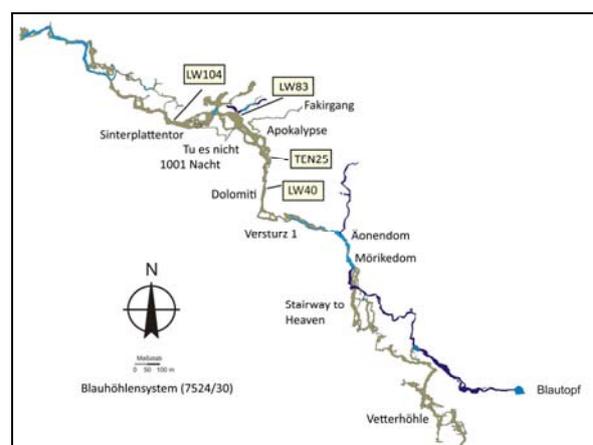


Abb. 1: Übersichtsplan der Blauhöhle (Stand 08-2015) mit den in diesem Beitrag näher beschriebenen *Pool-Finger*-Vorkommen LW40, TEN25, LW83 und LW104). Planzeichnung: HERBERT JANTSCHKE / Arge Blautopf).

Tabelle 1: Bislang bekannte Pool-Finger-Vorkommen in der Blautopfhöhle (7524/30b). Legende: F (Fotos), FP (fossile Proben), DP (DNA Proben) L (lebende *Pool-Fingers*), W (Wasseranalysen), D (Detailvermessung), R (REM); blau hinterlegt: im Text behandelte Vorkommen.

Bezeichnung/ Messpunkt	Höhlenbereich	Datum	Forschungsstand
LW40	Dolomiti-Halle	07.04.2012	F,FP,DP,L,W,D
TN12	Tu es nicht	07.04.2012	F
TN38	Tu es nicht	28.04.2012	-
TEN25	1001 Nacht	23.06.2012	F,FP,W,D
TEN29	1001 Nacht	23.06.2012	F
STH7	Stairway to Heaven	04.05.2013	F
LW83	Apokalypse	04.05.2013	F,FP,W,D,R
LW104	Sinterplattentor	18.05.2013	F,FP,DP,L,W,D
FG5	Fakirgang	27.06.2015	-
FG8.1	Fakirgang	27.06.2015	-
FG9	Fakirgang	27.06.2015	-
FG10	Fakirgang	27.06.2015	-

In der Blautopfhöhle wurden bislang an 12 Stellen Pool-Fingers nachgewiesen (Tabelle 1). Diese wurden entsprechend dem nächst gelegenen Messpunkt bezeichnet (z.B. Vorkommen LW83). Neben den vorwiegend fossilen Ausprägungen biogener Sinter wurden an zwei Becken noch „weiche“ Mikroorganismen-Filamente (lebende Pool-Fingers) dokumentiert. Vier Vorkommen (LW40, TEN25, LW83 und LW104), sind Gegenstand intensiver Forschung und werden hier detailliert beschrieben.

Sinterbecken LW40 (Dolomiti-Halle)

Das Pool-Finger-Vorkommen LW40 befindet sich direkt am Landweg zwischen Dolomiti-Halle und Versturz 2, in 943 m Entfernung zum trockenen Höhleneingang. Hier verengt sich der Gang zum Versturz hin. Rechts des Weges befindet sich ein massiger Stalagmit dessen Basis eine Sinterkaskade mit mehreren kleinen Sinterbecken gebildet hat (Abb. 2, 3). Die Becken werden vom ablaufenden Tropfwasser der Sinterkaskade gespeist. Von oben scheint das Wasser aus dem Decken-Versturz einzudringen.

Je nach Feuchtigkeit und Jahreszeit ist ein stark schwankender Wasserstand der einzelnen Becken zu beobachten. Die vier größeren Becken befinden sich zirka 0,8-1,0 m über dem Niveau des Höhlengangs.

An den Rändern der Becken befinden sich leicht hochgewölbte, halbmondförmige Sinterleisten (Crescent-Shelfstone), unter denen sich Pool-Fingers gebildet haben. Bei Becken 1 handelt es sich um ein dreieckig ausgebildetes Sinterbecken mit einer Kantenlänge von etwa 40-50 cm. Der Wasserstand von Becken 1 betrug am 7. April 2012 etwa 7 cm. Der Grund des Beckens ist mit feinem Lehm bedeckt. Die Basis der bis zu 7 cm langen Pool-Fingers liegt genau an der Wasseroberfläche. Darüber verläuft eine zirka 2 cm hohe Schicht aus „Kalzitkugeln“ (gerundeter Pool-Spar) bis knapp unter die Randleiste. Diese „Kalzitkugeln“ sind teilweise mit feinen Kristallnadeln besetzt. Die homogen gewachsenen Pool-Fingers enden direkt am lehmigen Grund des Beckens. Ihr unteres Ende ist verdickt und mit faserigen Mikroorganismen-Filamenten (lebende Pool-Fingers) belegt.

Die Pool-Fingers in Becken 2 zeigen ebenfalls einen starken Belag an Mikroorganismen-Filamenten (lebende Pool-Fingers). Erst durch die Vergrößerung der Fotos sind an den Spitzen dünne Filament-Fäden zu erkennen (Abb. 5). Unterhalb der Pool-Fingers haben sich am Boden Anhäufungen aus Lehm oder biogenem Filament gebildet.

Im 1,30 m langen und größten Becken 3 befinden sich unterhalb einer halbmondför-

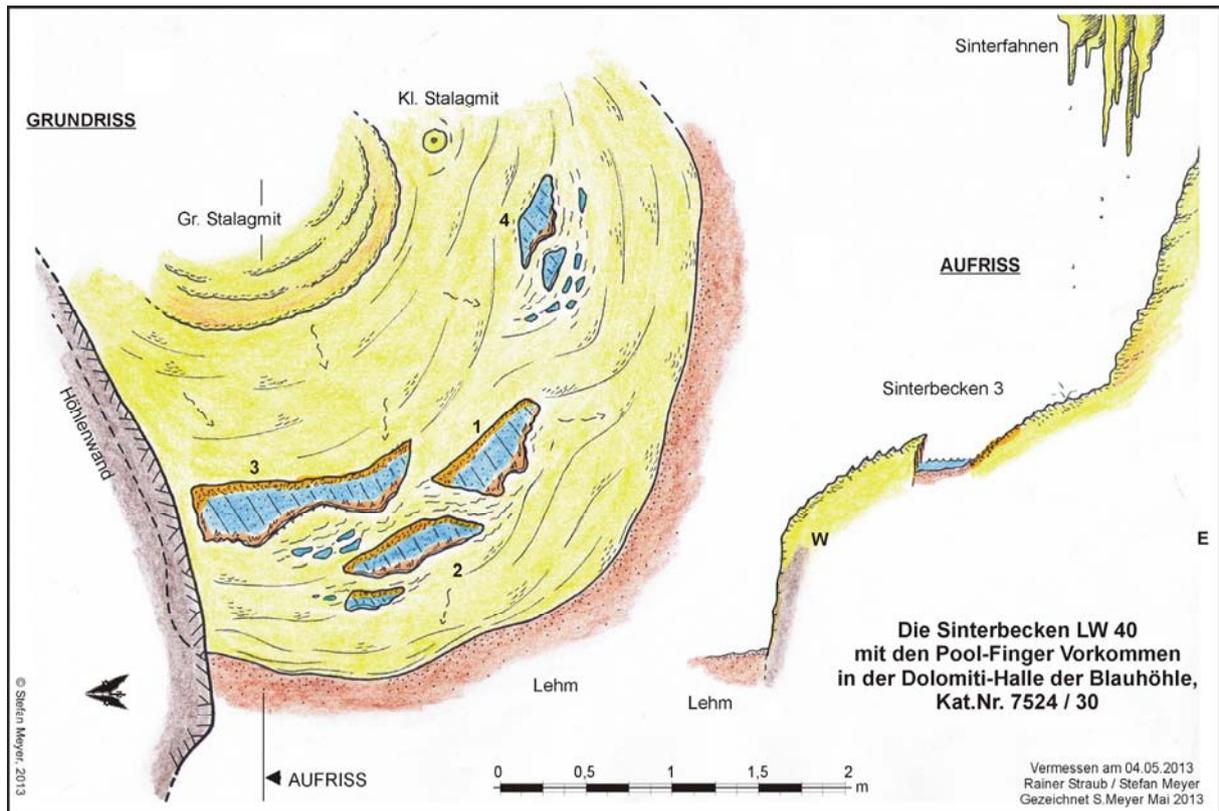


Abb. 2: Detailvermessung und Situationsplan des *Pool-Finger*-Vorkommen LW40 (Dolomiti-Halle).



Abb. 3: *Pool-Finger*-Vorkommen Dolomiti-Halle (LW40). Rechts ein massiger Stalagmit und die Sinterkaskade über die mehrere kleine Sinterbecken mit Tropfwasser gespeist werden.



Abb. 4: Enddeckung der *Pool-Finger*-Becken in der Dolomiti-Halle (LW40) am 4. April 2012.



Abb. 5: Lebende *Pool-Finger*-Filamente, Fäden und Bodenanhäufungen in Becken 2 (LW40).



Abb. 6: Feingliedrige *Pool-Finger* am östlichen Rand von Becken 3 (LW40).



Abb. 7: Detail Becken 3 (LW40). Der Bleistift zeigt auf den anschließend für REM Aufnahmen entnommenen *Pool-Finger*.

migen Sinterleiste schlanke, hell kristalline *Pool-Fingers* (Abb. 6, 7). Die größten *Pool-Fingers* erreichen eine Länge von bis zu 14 cm. In trockenen Perioden ist nahezu kein Wasser in Becken 3 vorhanden da die Speisung über die Sinterkaskade versiegt.

Im sehr kleinen Becken 4 sind nur wenige *Pool-Fingers* im Ansatz zu erkennen (Abb. 11). An seinem Beckenrand wachsen feinste bis zu 1,2 cm lange Kalzitnadeln. Bei Dokumentation und Vermessung des Vorkommens am 4. Mai 2013 betrug der Wasserstand an der tiefsten Stelle 10 cm. Auffällig waren auch die hier vorkommenden faserigen Mikroorganismen-Filamente (lebende *Pool-Fingers*). An den Spitzen haben sich bis zu 12 mm lange Fäden gebildet (Abb. 12).

Sinterbecken TEN25 (1001 Nacht)

Das Vorkommen befindet sich im Höhlenteil „1001 Nacht“ zwischen „Fantasy“ und „Im Reich der schönen Lau“. Dieser Bereich unterlagert den Hauptgang „Landweg“. Bei MP25 befindet sich ein großes 5 m breites und 6,7 m langes Sinterbecken (Abb. 13 und 14).

Die Wassertiefe betrug zum Zeitpunkt der Entdeckung zirka 0,5 m, ist aber Schwankungen im Dezimeterbereich unterworfen. Das Vorkommen wurde im Mai 2013 eingehend untersucht. Am Süd-Ost-Rand des Beckens befindet sich das bislang größte Vorkommen an fossilen *Pool-Fingers*. Dieses erstreckt sich über mehrere Meter. Neben fingerförmigen schlanken Exemplaren fällt vor allem die weißkristalline, grobe Struktur auf. Die ersten zwei Meter der Ostseite sind dicht über der Wasseroberfläche mit Hunderten von *Pool-Fingers* bedeckt (Abb. 15, 16). Daneben extrem schöner *Pool-Spar* und kleine, keulenähnliche Kalzit-Formationen. Der Boden des gesamten Sinterbeckens besteht aus Lehm und ist an seiner tiefsten Stelle etwa 70 cm tief. Einige *Pool-Fingers* hängen derzeit bis unter die Wasseroberfläche.

Interessant sind zwei Kristallinseln die wie stumpfe Korallenstöcke über die Wasseroberfläche ragen. Im oberen Bereich sind die Kristalle verlehmt, was auf eine zeitweise Überspülung bei hohem Wasserstand hindeutet. Unterhalb des Randes hängen ebenfalls *Pool-Fingers* herab (Abb. 17).

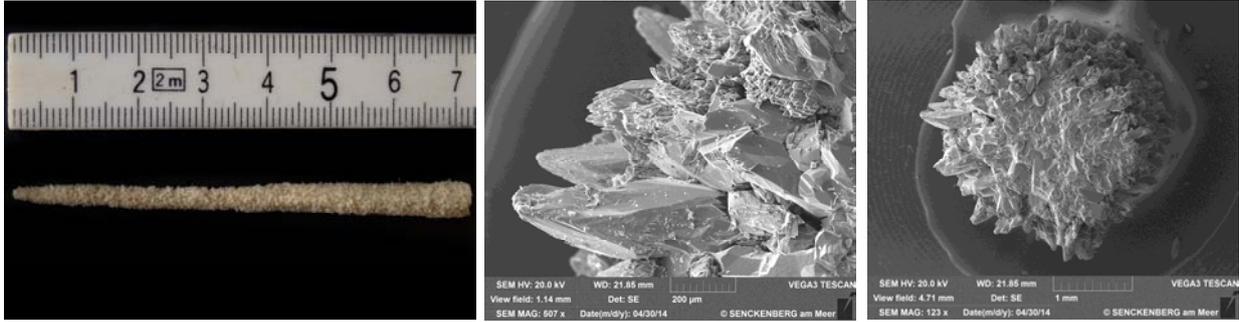


Abb. 8 (links): Entnommener *Pool-Finger* aus Becken 3 (LW40). Gut zu erkennen ist die stark kristalline Oberfläche.

Abb. 9 (Mitte): REM Aufnahme der *Pool-Finger*-Probe aus Becken 3 (LW40).

Abb. 10 (rechts): Querschnitt des *Pool-Finger* aus Becken 3 (LW40)



Abb. 11: *Pool-Finger* in Becken 4 (LW40).



Abb. 12: Bildvergrößerung eines zirka 12mm langen lebenden Filament Fadens am Ende eines *Pool-Finger* in Becken 4 (LW40).

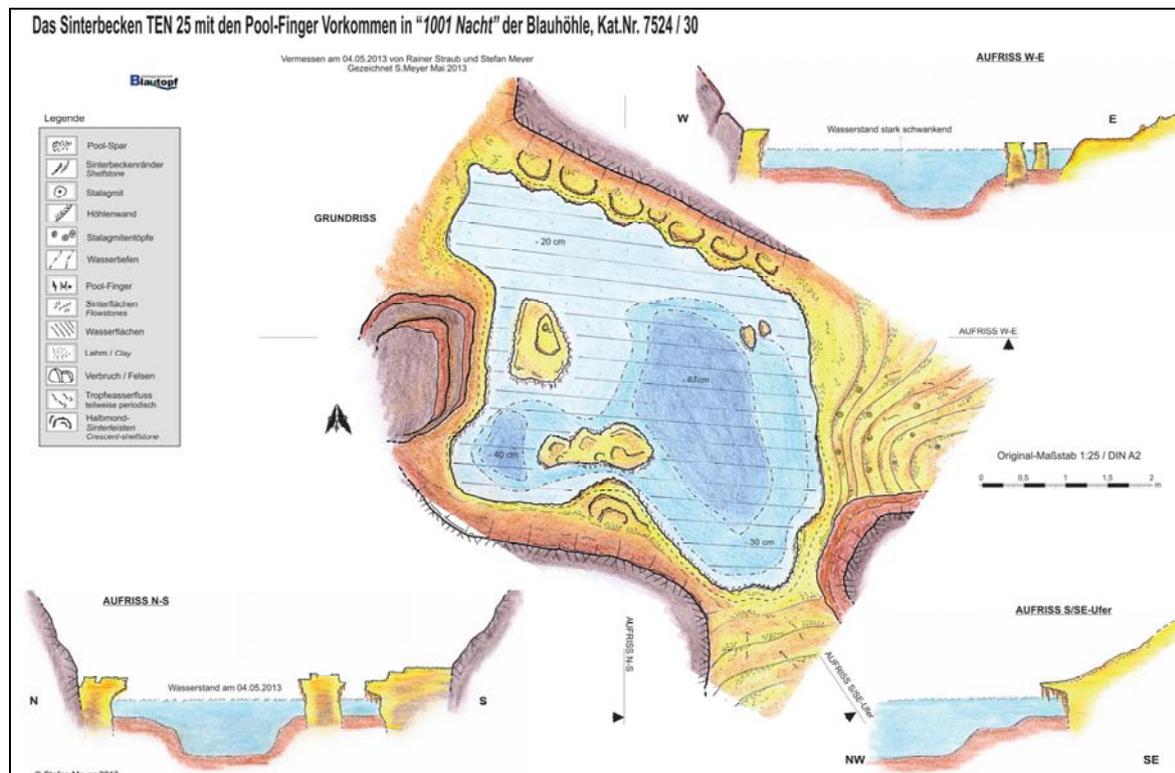


Abb. 13 (links): Detailvermessung und Situationsplan des *Pool-Finger*-Vorkommen TEN25 (1001 Nacht).



Abb. 14 (links): Am Pool bei TEN25 (1001 Nacht). Gut zu erkennen ist die südliche Kristallinsel.

Abb. 15 (rechts): Über mehr als 2 m Länge erstreckt sich das Pool-Finger-Vorkommen am Süd-Ost-Rand des Beckens TEN25 (1001 Nacht).



Abb. 16: *Pool-Fingers*, *U-Loops*, *Webulite* und keulenartige Verdickungen am Süd-Ost-Rand des Beckens TEN25 (1001 Nacht).

Entlang des nordwestlichen Beckenrandes wurden einige auffallend dicke und große Exemplare dokumentiert. Sie sind bis zu 4 cm dick und bis zu 9 cm lang. Zum Zeitpunkt der Entdeckung berührten sie die Wasseroberfläche (Abb. 18).

An mehreren Stellen sind U-Loops vorhanden. Dabei haben die einstmaligen weichen Bio-Filamente durch Wasserbewegung an der Oberfläche einen „U-Loop“ gebildet, der sich mit einem „Nachbar“ verbunden hat. Im

Laufe der Zeit ist die gesamte Formation dann kristallisiert (Abb. 19, 20, 21).

Obwohl das Sinterbecken starke Lehmlagerungen enthält, konnten keine lebenden Pool-Fingers beobachtet werden. Die vielen hellfarbigen U-Loops und Webulite lassen jedoch vermuten, dass dieses Becken mikrobiologisch ehemals sehr aktiv war, der Nährstoffeintrag jedoch mit der Zeit versiegt ist.

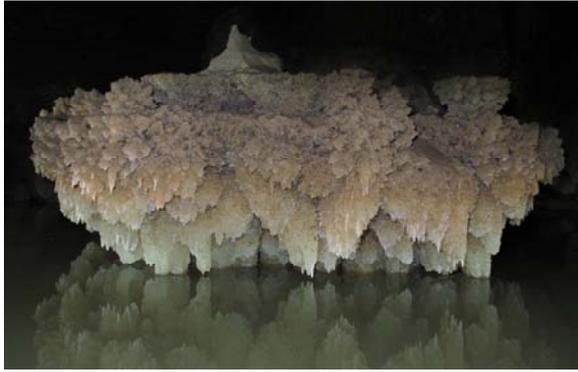


Abb. 17: Die nördliche Kristallinsel im Pool TEN25 (1001 Nacht).



Abb. 21: Detail von mehrstöckigen *Pool-Fingers* mit *U-Loop* an der Süd-Ost-Seite des Beckens TEN25 (1001 Nacht).



Abb. 18: Massige, säulenförmige *Pool-Fingers* am Nord-West Rand von TEN25 (1001 Nacht).



Abb. 19: *Pool-Fingers*, *U-Loops*, *Webulite* im Süd-Ost-Bereich des Beckens TEN25 (1001 Nacht).



Abb. 20: Schöner *U-Loop* am West-Rand des Beckens TEN25 (1001 Nacht).

Sinterbecken LW83 (Apokalypse)

Das größte Sinterbecken der Blauhöhle befindet sich auf einem über 30 m hohen Versturzungsbereich an der Nordostseite der riesigen „Apokalypse“, dem bislang größten bekannten Hohlraum. Das Becken dient der Wasserversorgung von Biwak 2. Ein Schlauch führt vom höchst gelegenen großen Seitenbecken hinunter in die Apokalypse.

Das Sinterbecken teilt sich in ein „Oberes“ und ein „Unteres“ Sinterbecken-System. Das „Obere“ Sinterbecken-System (Abb. 22 und 23) besteht aus über zehn Becken wobei das Hauptbecken eine 20m² große Fläche einnimmt. Die kleinsten Sinterbecken sind nur wenige Quadratdezimeter groß.

Tropfwasser hat neben den Sinterbecken prachvolle Sinterformationen wie Stalaktiten und Wandsinter gebildet. Der darunter liegende Versturz ist aufgrund der starken Versinterungen kaum mehr zu erkennen. Im nordwestlichen Bereich tropft aus vier bis acht Meter Höhe starkes Oberflächenwasser aus mit Stalaktiten reich geschmückten Klüften herunter. Dadurch konnte sich am Boden eine massige Sinterkuppe bilden, die mehrere Sinterbecken begrenzt. Über den Bodentropfstein herabrinneendes Wasser und Spritzwasser speist die umliegenden Sinterbecken. Ein weiterer Tropfwasserzufluss erfolgt aus einer nördlich gelegenen Tropfstelle. Auch hier bildeten sich massige Sinterablagerungen. Über mehrere Staustufen fließt das Wasser über einen südlich und einen westlich gelegenen Abfluss ab.

Das markante Hauptbecken ist durch schön gebänderten, überhängenden Crescentshelfstone begrenzt, die an Baumpilze erinnern. Dieser bildet Stauwälle, so dass sich

die Sinterbecken auf verschiedenen Höhen bilden konnten. Der Boden innerhalb der Becken ist gleichmäßig mit gerundetem Pool-Spar bedeckt. Nirgends findet sich Lehm. An den Rändern der Sinterbecken, vor allem aber unter den überhängenden

Rändern der Crescent-shelfstone befinden sich fossile Pool-Fingers von teilweise über 8 cm Länge. Im „Oberen“ Sinterbecken-System können zwei Pool-Finger-Typen unterschieden werden:

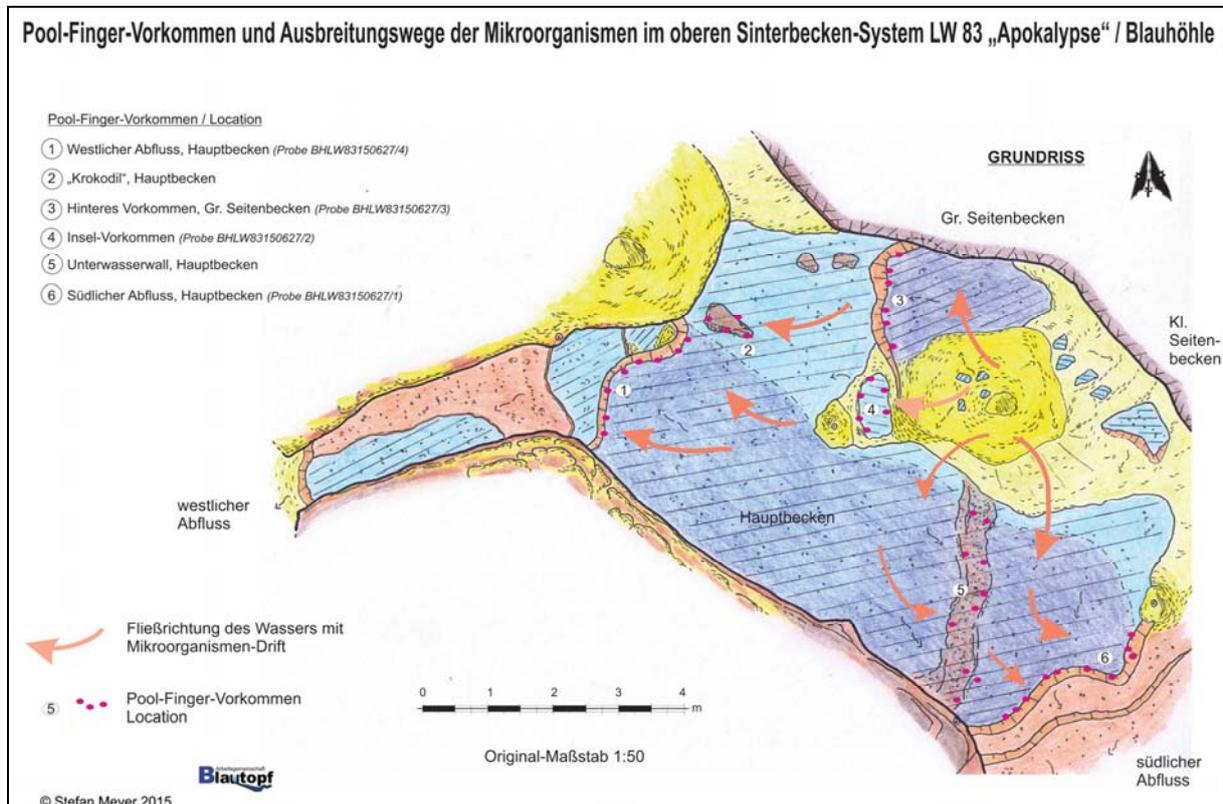


Abb. 22: Detailvermessung und Situationsplan des *Pool-Finger*-Vorkommen LW83 (Apokalypse), „Oberes“ Sinterbecken-System.

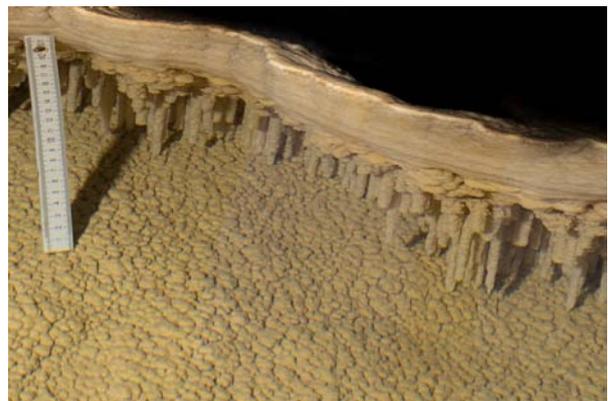


Abb. 23 (links): Das „Obere“ Sinterbecken-System mit großen Sinterbecken und *Pool-Fingers* an LW83 (Apokalypse). Gut zu erkennen ist der überhängende Damm aus Crescent-shelfstone.

Abb. 24 (rechts): *Pool-Finger* Typ A, unter den überhängenden Rändern des *Crescent-shelfstone* des Hauptbeckens (LW83). Lage am Damm des westlichen Abflusses.

Typ A - Lange, tonnenförmige, teilweise stumpf zulaufende Pool-Fingers mit grobkörniger Oberfläche, weiß-cremefarbig (Abb. 24).

Typ B - Kurze, spitz zulaufende sehr weiße Pool-Fingers in Zapfenform mit eher feinkörniger Oberfläche (Abb. 25).

Bei der Detailaufnahme wurden sechs Pool-Finger-Vorkommen im „Oberen“ Sinterbecken-System dokumentiert:

1. Westlicher Abfluss, Hauptbecken
2. Unterwasserblock „Krokodil“ im Hauptbecken
3. „Hinteres Vorkommen“ im großen Seitenbecken
4. „Insel“
5. „Unterwasserwall“ im Hauptbecken
6. Südlicher Abfluss, Hauptbecken

Bei den Vorkommen 1, 3 und 6 handelt es um schlanke Pool-Fingers von Typ A mit meist stumpfen Enden, die sich dicht gedrängt unter den Crescent-shelfstone gebildet haben.

Die Pool-Fingers der Vorkommen 2 („Krokodil“) und 5 („Unterwasserwall“) entsprechen Typ A, sind etwas kürzer und kräftiger und zeigen eine stärkere Kalzitablagerung. Die Zwischenräume sind enger. Auf der Ost-Seite des „Unterwasserwalls“ finden sich Ausprägungen von Typ A und B, Mischformen sowie U-Loops und Webulite (Abb. 26-28).

Die spitze, zapfenförmige Ausprägung entsprechend Typ B kommt im Vorkommen 4 („Insel“) sowie am „Hinteren Vorkommen“ Nr. 3 unter Crescent-shelfstone hängend im großen Seitenbecken vor. Hier sind feinste U-Loops und Webulite häufig. Bei Typ B scheint es sich um eine jüngere Form mit noch geringen Kalkanlagerungen zu handeln (Abb. 29).

Betrachtet man ausgehend von der Tropfwasser-Zufuhr die Lage der Pool-Finger-Vorkommen, unter Berücksichtigung der verschiedenen Typen, lässt sich ein Ausbreitungs- und Verbreitungsschema der Mikroorganismen darstellen, das dem Wasserabfluss entspricht (s. Fließrichtungen in Abb. 22).



Abb. 25: Pool-Finger Typ B. Feine Zapfenform sehr heller weißer Farbe an der Nordwestseite des großen Seitenbeckens. Gut zu erkennen ist der überhängende Rand Crescent-shelfstone.



Abb. 26: Der „Unterwasserwall“ mit Pool-Fingers im Hauptbecken.



Abb. 27: Das „Krokodil“, ein mit Pool-Fingers besetzter Unterwasserblock im Hauptbecken.



Abb. 28: Probe eines Pool-Fingers mit Webulit (Doppel-Steg) der zu REM Aufnahmen am „Unterwasserwall“ entnommen wurde.

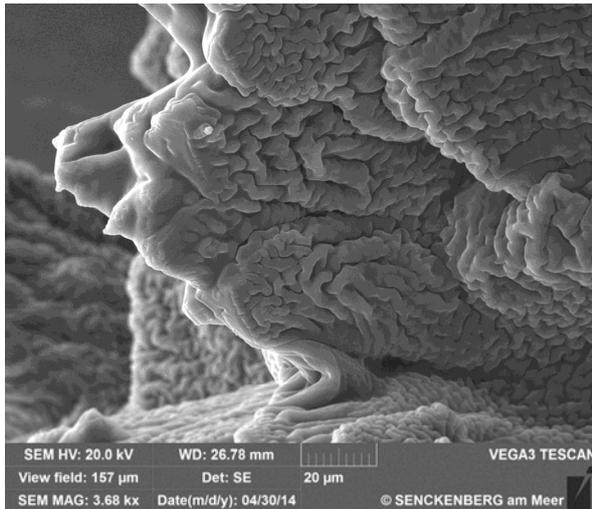


Abb. 30: Oberflächenstruktur, eventuell biogenen Ursprungs auf einem Pool-Finger aus dem Hauptbecken LW83 Apokalypse.

Bei der genauen Untersuchung des Vorkommens LW83 fanden sich keine sichtbaren Filamente bzw. lebende Pool-Fingers in den Becken.

In zirka 6.5 m Entfernung, südwestlich vom „Oberen“ Sinterbecken-System, befinden sich zwei weitere, sehr viel kleinere Sinterbecken (<1 m²). Dieses „Untere“ Sinterbecken-System wird nicht aus dem „Oberen“ Sinterbecken-System versorgt, sondern über eine eigenständige Deckentropfstelle. Die Becken befinden sich zwischen großen, stark versinternten Versturzböcken. Die Crescent-shelfstone an den Beckenrändern sind schmaler ausgeprägt, weisen jedoch ebenfalls fossile Pool-Fingers von mehreren Zentimetern Länge auf (Abb. 31). Zum Zeitpunkt der Aufnahme am 27.6.2015 war kein Wasser im Becken aufgestaut.



Abb. 31: Pool-Fingers am „Unteren“ Sinterbecken-System bei LW83.

Sinterbecken LW104 (Sinterplattentor)

Das Pool-Finger-Vorkommen LW104 am „Sinterplattentor“ liegt in einem kleinen, länglichen Sinterbecken von zirka einem Quadratmeter Größe (Abb. 32, 33). Das gesamte Sinterbecken und ein Großteil der umrahmenden Bodenplatte sind auf einer Sinterplatte entstanden, die fast völlig unterspült ist. Das ehemals unterlagernde Se-

diment ist bereits abgetragen (Abb. 34). In mitten des Beckens befindet sich eine Insel, bestehend aus triangulären Kalzit-Kristallen, die an der Wasseroberfläche entstanden sind (Abb. 35).

Die Wassertiefe beträgt zirka 10 cm, der Wasserstand scheint aber stark zu schwanken. Auf der Südwest-Seite, am Fuß einer

mächtigen Sinterformation hängen viele fossile Pool-Fingers von mehreren Zentimetern Länge und sehr weißer Färbung. Viele U-Loops und Webulite sind erkennbar. Diese sind bereits fein mit Kalzit überzogen (Abb. 36). Nur sehr schwer sind vereinzelte, millimetergroße bewegliche Filamente von Mikroorganismen erkennbar die eindeutig als lebende Pool-Fingers angesprochen werden können. Der Sinterbeckenrund besteht aus einer glatten Sinterschicht (kein Pool-Spar!) die mit einer sehr dünnen Lehmschicht überzogen ist. In der homoge-

nen Bodenplatte des Beckens fallen vereinzelte Löcher mit einem Durchmesser von 1-3 mm auf. Der Ursprung ist unbekannt und konnte bislang in dieser Form noch nie beobachtet werden (Abb. 37). Bei den Löchern muss es sich um „Sacklöcher“ handeln, da diese sonst das Becken entwässern würden.

Am 27.6.2015 wurden neben Wasserproben, sterile Filament-Proben zur DNA Analyse sowie eine sterile Probe eines fossilen Pool-Fingers für weitere mineralogische Untersuchungen entnommen.

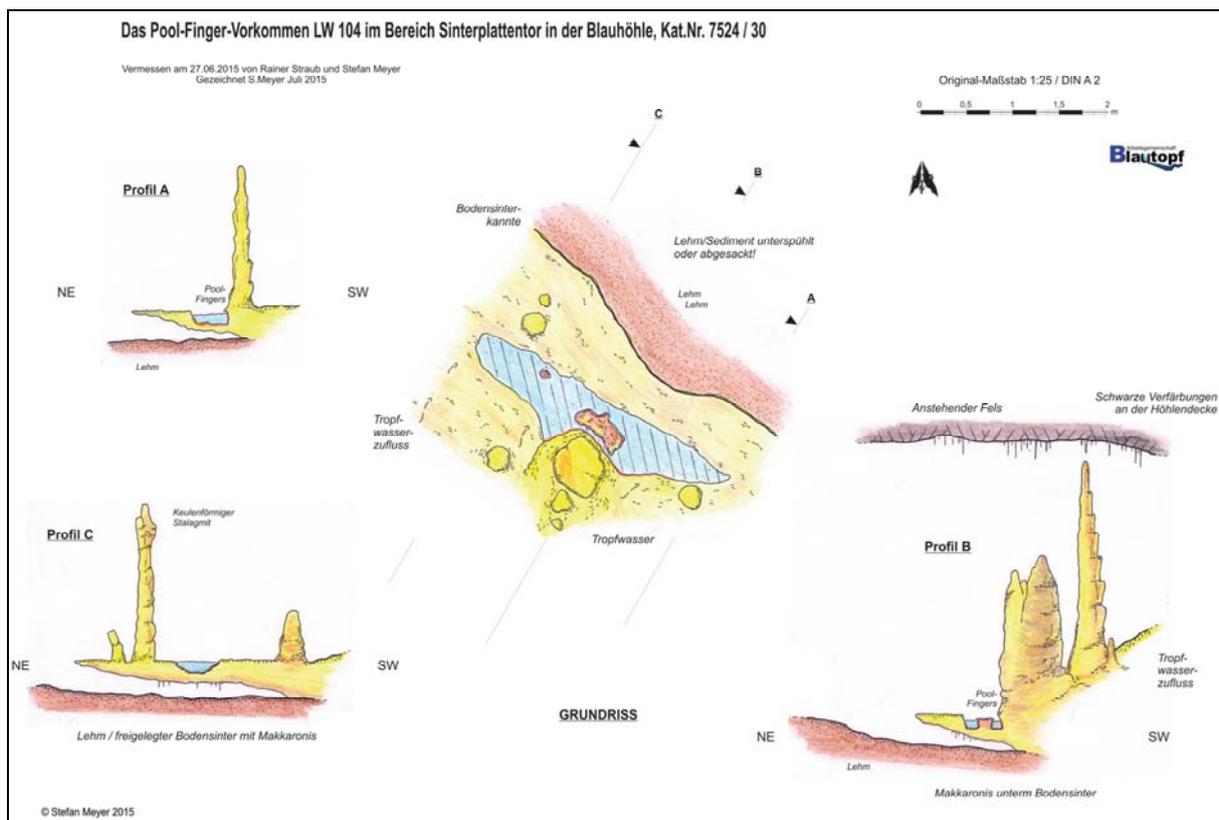


Abb. 32: Detailvermessung und Situationsplan des Pool-Finger-Vorkommen LW104 (Sinterplattentor).



Abb. 33 (links): Die Situation am Pool-Finger-Vorkommen LW104 mit schönen Kerzen-Stalagmiten und massigen Sinter.

Abb. 34 (rechts): Das Pool-Finger-Vorkommen LW104 befindet sich über einer unterspülten Sinterplatte.



Abb. 35: *Pool-Fingers* an LW104. Auf der versinterten Bodenplatte des Beckens liegt nur sehr wenig Sediment auf. Links, eine Insel aus triangulären Kalzitkristallen gebildet die an der Wasseroberfläche wachsen.



Abb. 36: Kalzifizierte Filamente und U-Loops zwischen *Pool-Fingers* an LW104.



Abb. 37: Weiße *Pool-Fingers*. Die Entstehung der 1-3mm großen Löcher im Bodensinter des Sinterbeckens LW104 ist nicht bekannt.

Weitere *Pool-Finger*-Vorkommen in der Blauhöhle

Neben den hier vorgestellten *Pool-Finger*-Vorkommen LW40 (Dolomiti), TEN25 (1001 Nacht) LW83 (Apokalypse) und LW104

(Sinterplattentor) sind derzeit noch acht weitere Vorkommen (s. Tabelle 1) bekannt. Diese wurden bisher nicht im Detail dokumentiert. In einem 2015 neu entdeckten Seitengang (Fakirgang) konnten bereits vier Vorkommen lokalisiert werden. Inwiefern sie neben fossilen *Pool-Fingers* ggf. lebende Filamente enthalten, werden zukünftige Untersuchungen zeigen.

Wasseranalytik

Am 27.-und 28. Juni 2015 wurden aus vier Becken Wasserproben entnommen und außerhalb der Höhle analysiert.

Wie zu erwarten war, liegt der Gesamthärtebereich bei 3 (hart). Bei der Becken LW40 und TEN25 ist dieser mit 2 niedriger. Ammonium kommt üblicherweise nicht im Grundwasser vor. Ammonium konnte nicht festgestellt werden. Ein Auftreten dieser Verbindung ist ein wichtiger Hinweis für Einflüsse durch Abwasser. Anhand des Ammoniumgehaltes können Aussagen zum Verschmutzungsgrad und zur Gewässergüte getroffen werden. Der Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser liegt bei 50 mg/l. Die Nitrat-Messung der Wasserprobe aus dem Sinterbecken LW104 ist mit 30 mg/l am höchsten. Nitrat ist für Pflanzen ein wichtiger Stickstoff-Lieferant und auch einige Bakteriengruppen können Nitrat für ihre Entwicklung nutzen. Es ist nicht ungewöhnlich, dass u.a. Stickstoffverbindungen vor allem aus der Landwirtschaft von der Oberfläche relativ schnell in ein Höhlensystem gelangen können – mit ihnen die Mikroorganismen. Auch aus überlaufenden Kläranlagen und Sickergruben gelangen ganze Mikro-Lebensgemeinschaften in den meist lebensfeindlichen Untergrund (MEYER 2015). Beobachtungen zu solchen Ansammlungen von Mikroorganismen stammen meist aus größeren unterirdischen Wasserkörpern wie z.B. filamentartige Strukturen in der Syrauer Drachenhöhle oder stalaktitartige Formen in der Hessenhöhle (Spaghetti-Siphon; BOHNERT et al. 2014). Auch in der Blautopfhöhle konnten solche Strukturen knapp über dem Wasserspiegel an den Wänden des Mörikedoms beobachtet werden. Diese Formen können sich jedoch auch wieder auflösen, wie in der Syrauer Drachenhöhle beobachtet werden konnte (mündliche Mitteilung SVEN BAUER).

Tabelle 2: Wasseranalytik der Pool-Finger-Vorkommen LW40, TEN25, LW83 und LW104.

28.06.2015	Gesamthärte	Karbonathärte	Ammonium	Nitrat	ph-Wert
	Titrimetrische Messungen		Photometrische Messungen		
LW104	15,5	15,5	0,0mg	30mg/l	7,1
LW83	14	12,5	0,0mg	6,0mg/l	7,5
LW40	12	11,5	0,0mg	6,0mg/l	6,9
TEN25	12	12	0,0mg	6,0mg/l	7

REM-Untersuchungsergebnisse

Zur Darstellung der Kristallstruktur und um ggf. biogene Anzeichen an den fossilen Pool-Fingern zu erkennen, wurden REM Aufnahmen an Proben durchgeführt. Hierzu wurden die Proben bei 70°C im Trockenschrank getrocknet und anschließend mit Gold beschichtet. Die Visualisierung erfolgte mittels VEGA3 XMU Rasterelektronenmikroskop (20kV; Sekundärelektronendetektor). Die REM Aufnahmen wurden durch Dr. MAX WISSHAK, Forschungsinstitut Senckenberg am Meer, Wilhelmshaven visualisiert.

Diskussion

Die Bildung von Pool-Fingern ist bislang nicht eindeutig geklärt. Die Autoren gehen nach derzeitigem Kenntnisstand von folgender Genese aus:

Grundlage biogener Aktivität sind Bakterien und/oder Mikroorganismen, die durch Tropf- und Sickerwasser in Sinterbecken eingetragen werden. So entstehen Lebensgemeinschaften, die sich unter sehr isolierten Bedingungen vermehren und verstärkt Biomasse bilden. Die Vermehrung der Mikroorganismen ist stark abhängig vom Nährstoffeintrag. Nährstoffe können mineralische Verbindungen aus dem umgebenden, bzw. überlagernden Gestein sein, aber auch Stoffe, die von der Erdoberfläche eingetragen werden haben vermutlich einen großen Einfluss. Auch Ansammlungen von absterbenden Mikroorganismen kommen für die Bildung biogener Sinter in Frage.

An den überhängenden Rändern der Sinterbecken bilden sich Bakterienfäden und Filamente (lebende Pool-Fingern). Diese Fäden werden mit der Zeit durch übersättigte Kalzitlösung in den Sinterbecken mit einer Kalzitschicht überzogen und bilden so fossile Pool-Fingern. Auf diese Weise können auch mehrere „Generationen“ bzw. Entwicklungszyklen von Mikroorganismen biogene Sinter aufbauen.

Ob die Mikroorganismen auch aktiv, aufgrund ihres Stoffwechsels oder passiv, über physikalisch-chemische Prozesse beteiligt sind, ist nicht bekannt.

Änderungen des Wasserstandes führen zur Bildung der „fingerförmigen“ Ausprägungen unterschiedlicher Länge. Innerhalb des Sinterbeckens bewegen sich Filamente, die sich an Hartsubstraten wie z.B. benachbarten Pool-Fingern verfangen, und bilden so U-Loops und Webulite. Die schlaufenartigen Verbindungen sind vermutlich jung. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand wird von einer nacheiszeitlichen Bildung der fossilen Pool-Fingern in Deutschland ausgegangen (MEYER & PLAN 2010).

Ausblick

Im Juni 2015 wurden durch die Autoren sterile Proben lebender Filamente zu DNA Untersuchungen aus den Sinterbecken LW40 (Dolomiti), Becken 2 sowie aus Becken LW104 (Sinterplattentor) entnommen. Des Weiteren wurden fossile Pool-Fingern zu mineralogischen Untersuchungen entnommen. Die Proben wurden an Ph. D. DIANA

NORTHUP und Prof. Dr. LESLIE MELIM, USA weitergeleitet, die bereits die Untersuchungen der Pool-Fingers aus dem Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System betreut haben. Im Gegensatz zu den Vorkommen im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System, konnten aus den Sinterbecken der Blauhöhle nur sehr geringe Mengen biogener Filamente entnommen werden. Wir hoffen, dass diese Mengen ausreichen, um die biogene Aktivität nachweisen zu können, und sind auf die Ergebnisse der amerikanischen Wissenschaftlerinnen gespannt.

Dank

Unser Dank gilt den Höhlenforschern der Arbeitsgemeinschaft Blautopf, die uns mit wachem Auge auf Vorkommen aufmerksam gemacht haben. Des Weiteren möchten wir uns recht herzlich bei Dr. MAX WISSHAK, Forschungsinstitut Senckenberg am Meer in Wilhelmshaven, für die REM Aufnahmen danken.

Schriftenverzeichnis

- ARBEITSGEMEINSCHAFT BLAUTOPF (2009): Faszination Blautopf - Vorstoß in unbekannte Höhlenwelten. – 136 S.; Ostfildern (Jan Thorbecke Verlag).
- BOHNERT, J., MÜLLER, T., UFRECHT, W., GOLDSCHNEIDER, N., & LAUBER, U. (2014): Expedition Hessenhau – Vorstoß in die Höhle ohne Ende: – 48 S.; Arbeitsgemeinschaft Blaukarst e.V.
- DAVIS, D. G., PALMER, M. V. & PALMER, A. N. (1990): Extraordinary subaqueous speleothems in Lechuguilla Cave, New Mexico. – NSS Bull., **52** (2): 70-86.
- GRADZINSKI, M. (2003): Role of micro-organisms in cave pearls formation. – Journal of Conference Abstracts, v. 4., 924 p.
- LIESCHEIDT, R., MELIM, L., SPILDE, M. N. & NORTHUP, D. E. (2008): Quantification of Fossil Microbe Distribution in Pool Fingers from Cottonwood Cave, NM, USA. – Paper No. 215-6. Geological Society of America. Abstracts with Programs, **40** (6), p. 295.
- MELIM, L.A., NORTHUP, D. E., SPILDE, M., JONES, B., BOSTEN, R. J. & BIXBY (2008): Reticulated Filaments in Cave Pool Speleothems: Microbe or Mineral? – Journal of Cave and Karst Studies, 2008: 135 – 141.
- MELIM, L.A., NORTHUP, D. E. & SPILDE, M. N. (2010): Survey of Pool Fingers of the World: We want your help! – NSS News, **68** (2): 18-19.
- MELIM, L. (2011): Preliminary Report on Pool fingers from Herbstlabyrinth and Adventhöhle, Germany. Samples collected Juli 2011 by LESLIE MELIM and DIANA NORTHUP with help from INGO DORSTEN, STEFAN MEYER, and SIMON MISCHER. SEM work November, 2011 by LESLIE MELIM, MICHAEL SPILDE, DIANA NORTHUP and JORDAN MORONI. 11 S. 6 Fotos und 15 SEM-Aufnahmen. Unveröff.
- MELIM, L., PLAN, L., BOGUSLAWSKI von, S. & MEYER, S. (2011): Terminologie biogener Beckensinter in Höhlen. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher, **57** (1): 110-114.
- MELIM, L., PLAN, L., BOGUSLAWSKI von, S. & MEYER, S. (2013): Biogene Beckensinter in Höhlen – ein neues Forschungsfeld und seine Begriffe. – Mitt. Arbeitsgem. Karstkde. Harz **2013** (1/2): 3-8.
- MELIM, L. (2013): Report on Riesenberghöhle samples. 5 Mikroskopaufnahmen und 7 REM-Aufnahmen. Unveröff.
- MEYER, S. & PLAN, L. (2010): Pool-Fingers – eine kaum bekannte Sinterform biogenen Ursprungs. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher, **56** (4): 104-108.
- MEYER, S. (2013a): Bericht zum Forschungswochenende „Pool-Fingers“ im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System bei Breitscheid, Hessen, 8. - 10. Juli 2011. – Mitt. Arbeitsgem. Karstkde. Harz, **2013** (1/2): 9-29.

- MEYER, S. (2013b): Neue Pool-Finger-Funde im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System bei Breitscheid / Hessen. – Mitt. Arbeitsgem. Karstkde. Harz, 2013 (4): 21-29.
- MEYER, S. (2014): Neues zu den Pool-Finger-Vorkommen im Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System, Hessen. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher, **60** (2): 42-49.
- MEYER, S. (2015): Befahrungsbericht Erdbach-Tunnel und Nordwest-Passage (Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System, Hessen) vom 9./10. August 2014. – Mitt. Arbeitsgem. Karstkde. Harz, 2015 (1-2): 31-39.
- MEYER, S., MELLIM, L. & SCHOLZ, D. (2015): Morphologie der Pool-Finger in der Riesenberghöhle (Süntel, Niedersachsen). – Die Höhle, **66** (1-4): 88-95.
- NORTHUP, D. E., REYSENBACH, A.-L. & PACE, N. R. (1997): Microorganisms and Speleothems. In: Cave Minerals of the World. – 2. edition, 261-266; National Speleological Society, Huntsville.
- NORTHUP, D. E. (2002): Geomicrobiology of Caves. – Dissertation University of New Mexico, Albuquerque.
- NORTHUP, D. E. (2012): Living Pool fingers, Germany / Previous Pool Genetic Results. 5 S., 2 Fotos, 2 SEM-Aufnahmen und 5 Diagramme. Unveröff.
- QUEEN, J. M. & MELIM, L. A. (2006): Biothems: Biologically influenced speleothems in caves of the Guadalupe Mountains, New Mexico, USA. – In: RAATZ, W., LAND, L. & BOSTON, P. (Eds.): Caves and Karst of Southeastern New Mexico, New Mexico Geological Society Guidebook, 57th Field Conference: 167-174.
- SCHMID, S. (2012): Wissen: Lebendiges Gestein. Höhlenblumen existieren nur an wenigen Orten. Forscher der ETH Zürich haben nun erste Hinweise darauf, dass die spektakulären Mineralien-Gebilde von Lebewesen geschaffen wurden. NNZ am Sonntag. 25. November 2012: 69, 2 Abb. 1. Karte.